

(19)日本国特許庁 (J P)

(12)特 許 公 報 (B 2)

(11)特許番号

第2531788号

(45)発行日 平成8年 (1996) 9月4日

(24)登録日 平成8年 (1996) 6月27日

(51)Int.Cl.⁶

H01S 3/1055

識別記号

庁内整理番号

F I

H01S 3/1055

技術表示箇所

請求項の数10 (全8頁)

(21)出願番号 特願平1-124898

(22)出願日 平成1年 (1989) 5月18日

(65)公開番号 特開平2-303178

(43)公開日 平成2年 (1990) 12月17日

(73)特許権者 999999999

株式会社小松製作所
東京都港区赤坂2丁目3番6号

(72)発明者 若林 理

神奈川県平塚市万田1200 株式会社
小松製作所研究所内

(72)発明者 小若 雅彦

神奈川県平塚市万田1200 株式会社
小松製作所研究所内

(72)発明者 小林 諭樹夫

神奈川県平塚市万田1200 株式会社
小松製作所研究所内

(74)代理人 弁理士 木村 高久

審査官 原 光明

(56)参考文献 特開平2-237087 (J P, A)

(54)【発明の名称】狭帯域発振エキシマレーザ

1

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】波長選択素子としてグレーティングを用いるとともに該グレーティングへビームエキスパンダを介してレーザ光を照射する放電励起による狭帯域発振エキシマレーザにおいて、

前記グレーティングの線引方向と前記ビームエキスパンダのビーム拡大方向とが前記放電励起のための放電方向とそれぞれ略垂直となるように前記グレーティングおよびビームエキスパンダを配置した狭帯域発振エキシマレーザ。

【請求項2】前記グレーティングは、エシエルタイプのグレーティングである請求項(1)記載の狭帯域発振エキシマレーザ。

【請求項3】前記ビームエキスパンダは、プリズムを用いて構成され、前記プリズムの稜線方向は前記放電方向

2

と略平行にされる請求項(1)記載の狭帯域発振エキシマレーザ。

【請求項4】前記ビームエキスパンダは、シリンドリカルレンズを用いて構成され、前記シリンドリカルレンズの機械軸は前記放電方向と略平行にされる請求項(1)記載の狭帯域発振エキシマレーザ。

【請求項5】波長選択素子としてグレーティングを用いるとともに光共振器内にアパーチャを配置した放電励起による狭帯域発振エキシマレーザにおいて、

10 前記グレーティングを、その線引方向が前記放電励起のための放電方向と略垂直となるように配置するとともに、前記アパーチャを前記放電方向に長い形状とした狭帯域発振エキシマレーザ。

【請求項6】波長選択素子としてグレーティングを用いるとともに該グレーティングへビームエキスパンダを介

3

してレーザ光を照射し、かつ光共振器内にアパーチャを配置した放電励起による狭帯域発振エキシマレーザにおいて、

前記グレーティングの線引方向と前記ビームエキスパンダのビーム拡大方向とが前記放電励起のための放電方向とそれぞれ略垂直となるように前記グレーティングおよびビームエキスパンダを配置するとともに前記アパーチャを前記放電方向に長い形状にした狭帯域発振エキシマレーザ。

【請求項 7】波長選択素子としてグレーティングを用いた放電励起による狭帯域発振エキシマレーザにおいて、光共振器のフロントミラーとしてシリンドリカルミラーを用い、

前記グレーティングを、その線引方向が前記放電励起のための放電方向と略垂直となるように配置するとともに前記シリンドリカルミラーをその機械軸が前記放電方向と略平行になるように配置した狭帯域発振エキシマレーザ。

【請求項 8】波長選択素子としてグレーティングを用いるとともに該グレーティングへビームエキスパンダを介してレーザ光を照射した放電励起による狭帯域発振エキシマレーザにおいて、

光共振器のフロントミラーとしてシリンドリカルミラーを用い

前記グレーティングの線引方向と前記ビームエキスパンダのビーム拡大方向とが前記放電励起のための放電方向とそれぞれ略垂直となるように前記グレーティングおよびビームエキスパンダを配置するとともに前記シリンドリカルミラーをその機械軸が前記放電方向と略平行になるように配置した狭帯域発振エキシマレーザ。

【請求項 9】波長選択素子としてグレーティングを用いるとともに光共振器内にアパーチャを配置した放電励起による狭帯域発振エキシマレーザにおいて、

前記光共振器のフロントミラーとしてシリンドリカルミラーを用い、

前記グレーティングを、その線引き方向が前記放電励起のための放電方向と略垂直となるように配置するとともに前記シリンドリカルミラーをその機械軸が前記放電方向と略平行になるように配置し、更に前記アパーチャを前記放電方向に長い形状にした狭帯域発振エキシマレーザ。

【請求項 10】波長選択素子としてグレーティングを用いるとともに該グレーティングへビームエキスパンダを介してレーザ光を照射し、かつ光共振器内にアパーチャを配置した放電励起による狭帯域発振エキシマレーザにおいて、

前記光共振器のフロントミラーとしてシリンドリカルミラーを用い、

前記グレーティングの線引方向と前記ビームエキスパンダのビーム拡大方向とが前記放電励起のための放電方向

4

とそれぞれ略垂直となるように前記グレーティングおよびビームエキスパンダを配置するとともに前記シリンドリカルミラーをその機械軸が前記放電方向と略平行になるように配置し、更に前記アパーチャを前記放電方向に長い形状にした狭帯域発振エキシマレーザ。

【発明の詳細な説明】

【産業上の利用分野】

この発明は狭帯域発振エキシマレーザに関し、特に縮小投影露光装置の光源に採用して好適なものである。

【従来の技術】

半導体装置製造用の縮小投影露光装置（以下ステッパという）の光源としてエキシマレーザの利用が注目されている。これはエキシマレーザの波長が短い（KrFレーザの波長は約248.4nm）ことから光露光の限界を0.5μm以下に延ばせる可能性があること、同じ解像度なら従来用いていた水銀ランプのg線やi線に比較して焦点深度が深いこと、レンズの開口数（NA）が小さくすみ、露光領域を大きくできること、大きなパワーが得られること等の多くの優れた利点が期待できるからである。

ところで、ステッパの光源として利用されるエキシマレーザとしては線幅3μm以下の狭帯域化が要求され、しかも大きな出力パワーが要求される。

エキシマレーザの狭帯域化の技術としては従来インジェクションロック方式と呼ばれるものがある。このインジェクションロック方式は、オシレータ段のキャビティ内に波長選択素子（エタロン・回折格子・プリズム等）を配置し、ピンホールによって空間モードを制限して単一モード発振させ、このレーザ光を増幅段によって注入同期する。この方式によると比較的大きな出力パワーが得られるが、ミスショットがあつたり、ロッキング

効率が100%とすることが困難であつたり、スペクトル純度が悪くなるという欠点がある。また、この方式の場合その出力光はコヒーレンス性が高く、これを縮小露光装置の光源に用いた場合はスペックル・パターンが発生する。一般にスペックル・パターンの発生はレーザ光に含まれる空間横モードの数に依存すると考えられている。すなわち、レーザ光に含まれる空間横モードの数が少ないとスペックル・パターンが発生し易くなり、逆に空間モードの数が多くなるとスペックル・パターンは発生しにくくなることが知られている。上述したインジェクションロック方式は本質的には空間横モードの数を著しく減らすことによって狭帯域化を行う技術であり、スペックル・パターンの発生が大きな問題となるため縮小投影露光装置には採用できない。エキシマレーザの狭帯域化の技術として他に有望なものは波長選択素子であるエアーギャップエタロンを用いたものがある。このエアーギャップエタロンを用いた従来技術としてはAT&Tベル研究所によるエキシマレーザのフロントミラーとレーザチャンバとの間にエアーギャップエタロンを配置し、エキシマレーザの狭帯域化を図ろうとする技術が提案さ

れている。しかし、この方式はスペクトル線幅をあまり狭くできず、かつ、エアーギャップエタロン挿入によるパワーロスが大きいという問題があり、更に空間横モードの数もあまり多くすることができないという欠点がある。またエアーギャップエタロンは耐久性に問題がある。そこで、比較的耐久性に優れたグレーティングを波長選択素子として採用して構成したエキシマレーザが提案されている。しかしながら、このグレーティングを用いた従来の装置はグレーティングの利用の仕方の問題があり効率よく狭帯域化できないという問題があった。

〔発明が解決しようとする課題〕

このように従来のエキシマレーザは狭帯域化、出力パワー、空間横モードの数、耐久性のいずれかの点において問題があり、これをそのままステッパの光源として用いることはできなかった。

そこでこの発明は、波長選択素子としてグレーティングを採用し、しかも効率よく狭帯域化できる狭帯域化発振エキシマレーザを提供することを目的とする。

〔課題を解決するための手段〕

この発明の狭帯域発振エキシマレーザにおいてはグレーティングを、その線引方向がレーザの放電方向と略垂直になるように配置し、グレーティングに照射される光ビームを拡大するビームエキスパンダを用いて、このビームエキスパンダもそのビーム拡大方向がレーザの放電方向と略垂直になるように配置する。

更に光共振器内にアパーチャを配置する場合はこのアパーチャをレーザの放電方向に長い形状にする。

更に光共振器のフロントミラーをシリンダカルミラーを用いて構成し、この場合、シリンダカルミラーの機械軸をレーザの放電方向と一致（平行）させる。

〔作用〕

エキシマレーザはそのビーム広がり角がレーザの放電方向に垂直な方向よりもレーザの放電方向の方が大きい。そこで、グレーティングの線引方向をレーザの放電方向と略垂直にすることにより効率よく狭帯域化することができる。

またビームエキスパンダのビーム拡大方向をレーザの放電方向と略垂直にすることによっても狭帯域化の効率は向上する。

更に光共振器内に配置されたアパーチャの形状をレーザの放電方向に長い形状にすることによって狭帯域化の効率は向上する。

更に、光共振器のフロントミラーをシリンダカルミラーから構成し、このシリンダカルミラーの機械軸をレーザの放電方向と一致させることによって更に狭帯域化の効率は向上する。

〔実施例〕

以下、この発明に係わる狭帯域発振エキシマレーザの実施例を添付図面を参照して詳細に説明する。

第1図はこの発明に係わる狭帯域発振エキシマレーザ

の一実施例を示したもので、第1図(a)はその側面図、第1図(b)はその正面図を示している。第1図(a)および第1図(b)において、この実施例の狭帯域発振エキシマレーザはフロントミラー10とレーザチャンバ20とリアミラーとして機能するグレーティング30から構成されるいわゆるリトロ配置をとっている。また、レーザチャンバ20とグレーティング30との間にはプリズムによるビームエキスパンダが挿入されている。ここで、第1図において、プリズム41、42がレーザチャンバ20から出力されたレーザビームを拡大してグレーティング31に照射させるビームエキスパンダを構成している。

また、レーザチャンバ20内にはレーザガスとしてKrF等が封入され、このレーザガスを放電励起するための電極23、24が設けられ、更にこのレーザチャンバ20には発振レーザ光を通すウィンドウ21、22が設けられている。

グレーティング30は光の回折を利用して特定波長の光を選択するもので、一定方向に配列された多数の溝が形成されている。この明細書ではこの多数の溝と直角の方向を線引方向と称している。グレーティング30はこの線引方向を含む平面内で入射光に対するグレーティング30の角度 θ を可変させることにより特定の波長の光を選択することができる。すなわち、グレーティング30は入射光に対するグレーティングの角度 θ に対応する特定の光のみを所定の方向（この場合入射光の方向）に反射させ、これによって特定の波長の光に対する選択動作を行なう。

さて、この実施例ではグレーティング30の線引方向がレーザチャンバ20内の電極23、24による放電方向と垂直になっており、プリズム41、42によるビームエキスパンダによるビーム拡大方向（すなわちプリズムの稜線方向と垂直な方向）はグレーティング30の線引方向、すなわちレーザチャンバ20内の電極23、24による放電方向と垂直な方向に一致している。

ところで、一般にレーザチャンバ20のウィンドウ22から出力されるレーザビームの広がり角は電極23、24による放電方向、すなわち電極23、24の配列方向よりもこの放電方向に垂直な方向の方が小さい。

そこでグレーティング30の線引方向をこの放電方向に垂直な方向に一致させると、グレーティング30におけるビーム広がり角を最小にすることができ、これにより効率よく狭帯域化することができる。

また、プリズム41、42によるビームエキスパンダによるビーム拡大方向（すなわちプリズムの稜線方向と垂直な方向）をグレーティング30の線引方向、すなわちレーザチャンバ20内の電極23、24による放電方向と垂直な方向に一致させるようにすることによって、グレーティング30におけるビーム広がり角がビームエキスパンダの拡大率の逆数分だけ小さくなるので狭帯域化の効率を高めることができる。

7

第2図(a), (b)は第1図に示した実施例のプリズム41、42によるビームエキスパンダの代わりに2個のシリンドリカルレンズ43、44により構成されたビームエキスパンダを用いたこの発明の他の実施例を側面図および平面図で示したものである。なお、第2図以下の図面において第1図に示した実施例と同一の機能を果たす部分には説明の便宜上同じ符号を付する。

この実施例の場合も、グレーティング30の線引方向はレーザチャンバ20内の電極23、24による放電方向と垂直にされ、シリンドリカルレンズ43、44によるビームエキスパンダのピーク拡大方向はグレーティング30の線引方向と一致するように構成される。

第3図(a), (b)はこの発明に係わる狭帯域発振エキシマレーザの他の実施例を側面図および平面図で示したものである。この実施例はいわゆる斜入射配置によって構成されたものである。なお、第3図に示した実施例は第1図で示した実施例のグレーティング30の部分がグレーティング31と全反射ミラー32とによって構成される。他の部分は第1図に示したものと同一である。

この第3図に示した実施例では全反射ミラー32がこの狭帯域発振エキシマレーザのリヤミラーとして機能し、グレーティング31が特定の波長のレーザ光を選択する波長選択素子として機能する。この第3図に示した実施例においてもグレーティング31の線引方向はレーザチャンバ20内の電極23、24による放電方向と垂直となるように電極23、24、グレーティング31、全反射ミラー32が夫々配置され、更に、プリズム41、42によるビームエキスパンダによるビーム拡大方向(すなわちプリズムの稜線方向と垂直な方向)はグレーティング30の線引方向、すなわちレーザチャンバ20内の電極23、24による放電方向と垂直な方向に一致するように構成されている。

これによりグレーティング31の線引方向に照射されるレーザ光の広がり是最小になり、グレーティング31におけるビーム広がりを最小にすることができるので高効率で狭帯域化することが可能となる。

第4図(a), (b)は第3図に示した実施例のプリズム41、42によるビームエキスパンダの代わりに2個のシリンドリカルレンズ43、44により構成されたビームエキスパンダを用いたこの発明の更に他の実施例を側面図および平面図で示したものである。この第4図(a), (b)に示す実施例においても、グレーティング31の線引方向はレーザチャンバ20内の電極23、24による放電方向と垂直にされ、シリンドリカルレンズ43、44によるビームエキスパンダのビーム拡大方向はグレーティング31の線引方向と一致するように構成される。

第5図(a), (b)に示す実施例はフロントミラー10とレーザチャンバ20との間にアパーチャ51を挿入し、レーザチャンバ20とグレーティング30との間にアパーチャ52を挿入した他の実施例を側面図および平面図で示したものである。

8

ここでアパーチャ51および52はレーザチャンバ20内の電極23、24による放電方向に長い形状となっている。

第6図は第5図に示す装置をフロントミラー10側から見た図である。この場合フロントミラー10の後にアパーチャ51が見え、その後にレーザチャンバ20が見える。ここでアパーチャ51の孔51aはレーザチャンバ20内の電極23、24による放電方向に長い長方形となっている。

なお、レーザチャンバ20とグレーティング30の間に挿入されるアパーチャ52も第6図に示したアパーチャ51と同一形状である。

ところで前述したように、レーザチャンバ20から出力されるレーザビームの広がり角は電極23、24による放電方向よりもこの放電方向に垂直な方向の方が小さくなっている。したがって上述した実施例のように電極23、24の放電方向に長い長方形のアパーチャ51、52を用いることによりレーザチャンバ20から出力されるレーザ光を効率よく透過させることができ、これによって出力レベルのアパーチャ挿入による減衰を最小におさえることができる。

なお、第5図に示した実施例においては2箇所にアパーチャを挿入したが、これを1箇所にすることもできる。また第1図乃至第4図に示した構成においても第5図と同様のアパーチャを挿入することによって構成することもできる。

なお、この場合においてもアパーチャの形状は電極の放電方向に長い形状にされる。ただし、この形状は長方形には限らず、例えば楕円形でもよい。またアパーチャを挿入する箇所は2箇所に限らず1箇所でもよい、3箇所以上でもよい。

なお、第1図、第2図、第5図に示すリトロ配置の実施例において、グレーティング30は第7図に示すようなエシエルグレーティングを用いると好適である。

エシエルグレーティングは第7図に示すように溝の頂角がほぼ直角となっており、またブレース角 β の大きなものが製作可能であるため、高効率でしかも高分解能となっている。したがって上述したリトロ配置の第1図、第2図、第5図に示す実施例においてグレーティング30として第7図に示すようなエシエルグレーティングを用い、レーザ光の入射角および回折角がそのブレース角を一致するようにすれば更に効率のよい狭帯域化が可能になり、グレーティング単一段でも充分な狭帯域化が実現できる。

第8図(a), (b)はこの発明の更に他の実施例を側面図および平面図で示したものである。この実施例はフロントミラー10としてシリンドリカルミラー60を用いて構成したものである。この第8図に示す実施例においてシリンドリカルミラー60はその機械軸(長さ方向に沿ってミラーを2分する軸)をレーザチャンバ20内の電極23、24による放電方向と一致させるようにして配置される。

またシリンドリカルミラー60の曲率半径はレーザ光のビームウェストがグレーティング30上にくるように選択される。すなわちシリンドリカルミラー60の曲率半径をR、レーザのキャビティ長、すなわちシリンドリカルミラー60とグレーティング30の回転軸までの長さをLとするととき $R=2L$ の関係が成立するようにシリンドリカルミラー60の曲率半径を選択する。またシリンドリカルミラー60の機械軸とグレーティング30の回転軸を一致させる。

これによって更に高効率でレーザ光の狭帯域化を行なうことができる。

なお、第1図乃至第4図に示した構成においてもフロントミラー10を第8図に示したようなシリンドリカルミラーに置換することによって同様に高効率な狭帯域化が可能になる。

また、第8図に示した構成において、1または複数のアパーチャを挿入することもできる。かかる構成の1例が第9図(a)、(b)に側面図および平面図に示される。

第9図(a)、(b)において、シリンドリカルミラー60とレーザチャンバ20の間にはアパーチャ51が配置され、レーザチャンバ20とグレーティング30の間にはアパーチャ52が配置される。ここでアパーチャ51および52は例えば第6図に示したようにレーザチャンバ20内の電極23、24による放電方向に長い形状のものである。

また、第1図乃至第4図のフロントミラー10を第8図に示したようにシリンドリカルミラーに置換した構成において、更に第9図に示すようなアパーチャを1個または複数個挿入して構成してもよい。

なお、上述した実施例においてレーザチャンバ内の電極23、24による放電方向とグレーティング30または31の線引方向とは必ずしも正確に垂直にする必要はない。グレーティング30または31の線引方向が電極23、24による放電方向と略垂直になれば充分高効率な波長制御が可能となる。

また、プリズム41、42またはシリンドリカルレンズ43、44によるビームエキスパンダのビーム拡大方向はグレーティング30または31の線引方向と正確に一致する必要はない。ビームエキスパンダのビーム拡大方向がグレーティング30または31の線引方向と略一致すれば充分な高効率の波長制御が可能となる。

またフロントミラーとしてシリンドリカルミラー60を用いた構成においても、シリンドリカルミラー60の機械軸が電極23、24による放電方向と略一致し、またシリンドリカルミラー60の曲率が式 $R=2L$ を略満足するように決定されかつシリンドリカルミラー60の機械軸がグレーティングの回転軸と略一致するように構成されれば充分な高効率な波長制御が可能となる。

なお、本実施例ではフロントミラーとしてシリンドリカルミラーを用いているが、通常の球面ミラーを用いてもよい。

【発明の効果】

以上説明したようにこの発明によれば非常に高効率で狭帯域化ができ、しかも耐久性に優れた狭帯域発振エキシマレーザを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

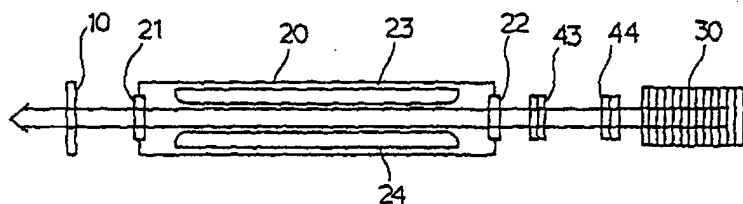
第1図(a)、(b)は、プリズムによるビームエキスパンダを用い、リトロ配置をとるこの発明の一実施例を示す側面図および平面図、第2図(a)、(b)は、シリンドリカルレンズによるビームエキスパンダを用い、リトロ配置をとるこの発明の他の実施例を示す側面図および平面図、第3図(a)、(b)は、プリズムによるビームエキスパンダを用い、斜入射配置をとるこの発明の更に他の一実施例を示す側面図および平面図、第4図(a)、(b)は、シリンドリカルレンズによるビームエキスパンダを用い、斜入射配置をとるこの発明の他の実施例を示す側面図および平面図、第5図

(a)、(b)は、アパーチャを挿入したこの発明の他の実施例を示す側面図および平面図、第6図は第5図に示す実施例をフロントミラー方向から見た図、第7図はエシエールグレーティングの一例を示す図、第8図

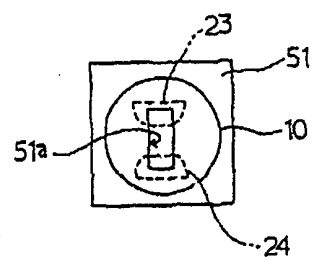
(a)、(b)はフロントミラーとしてシリンドリカルミラーを用いたこの発明の他の実施例を示す側面図および平面図、第9図(a)、(b)はフロントミラーとしてシリンドリカルミラーを用い、かつアパーチャを挿入したこの発明の他の実施例を示す側面図および平面図である。

10……フロントミラー、20……レーザチャンバ、21,22……ウィンド、23,24……電極、30,31……グレーティング、32……全反射ミラー、41,42……プリズム、43,44……シリンドリカルレンズ、51,52……アパーチャ、60……シリンドリカルミラー。

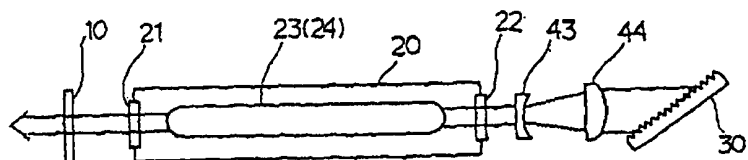
【第2図(a)】



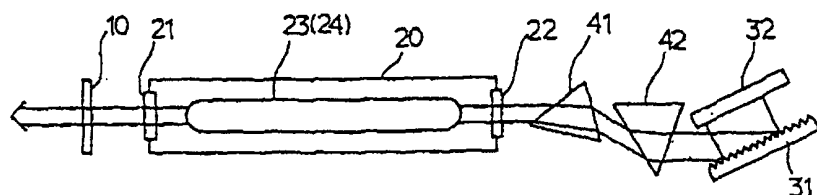
【第6図】



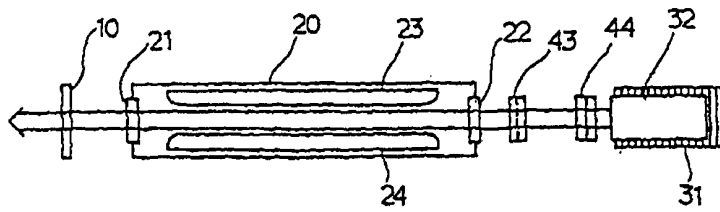
【第2図 (b)】



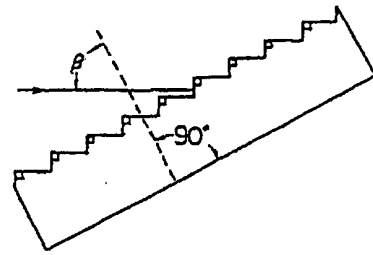
【第3図 (b)】



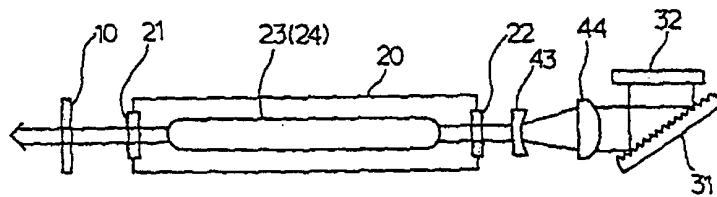
【第4図 (a)】



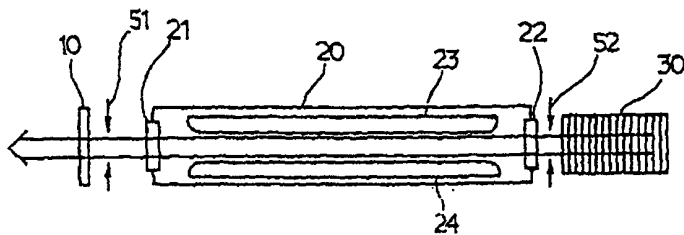
【第7図】



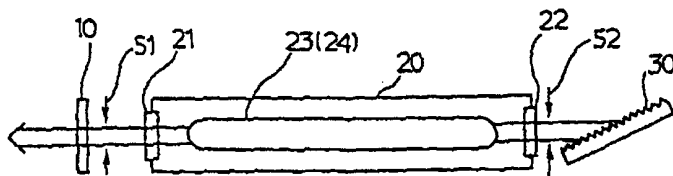
【第4図 (b)】



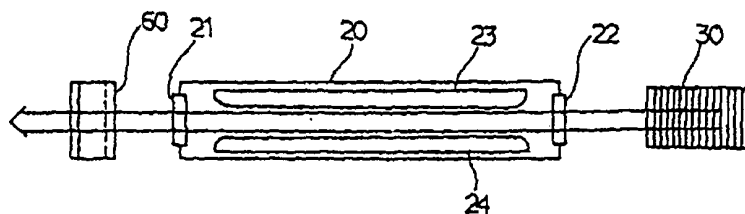
【第5図 (a)】



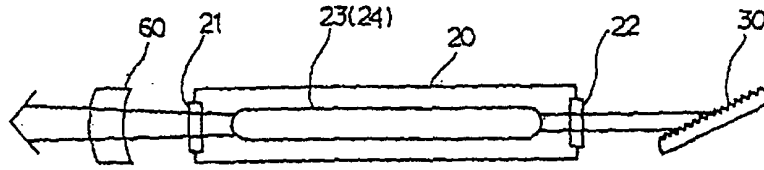
【第5図 (b)】



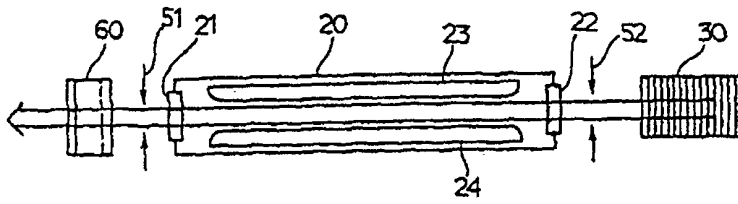
【第8図 (a)】



【第8図 (b)】



【第9図 (a)】



【第9図 (b)】

